Journal of Iranian Plant Protection Research

https://jpp.um.ac.ir

Research Article
Vol. 37, No. 4, 2024, p. 411-423

Breaking Seed Dormancy and Determining Cardinal Temperatures for Syrian Bean-Caper (*Zygophyllum fabago* L.) Using Regression Models

M. Heydari[1], M. Rastgoo[2*], A. Ghanbari[3], Gh.A. Asadi[3]

1, 2 and 3- Ph.D. Gradute, Professor and Associate Professor, Department of Agrotechnology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran, respectively.
(*- Corresponding Author Email: m.rastgoo@um.ac.ir)

Received: 14-07-2021 Revised: 03-09-2021 Accepted: 05-09-2021 Available Online: 05-09-2021	**How to cite this article:** Heydari, M., Rastgoo, M., Ghanbari, A., & Asadi, Gh.A. (2024). Breaking seed dormancy and determining cardinal temperatures for Syrian bean-caper (*Zygophyllum fabago* L.) using regression models. *Journal of Iranian Plant Protection Research*, *37*(4), 411-423. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/jpp.2021.71460.1034

Introduction

Syrian bean-caper is one of the important weeds in orchards, especially pistachio orchards in Kerman. Seed germination is a critical event in determining the success of a weed species in an ecosystem and is regulated by several factors such as temperature, light, soil salinity, moisture and pH. Seed dormancy is the most important factor that prevents seed germination, especially in weeds. Breaking seed dormancy by sulfuric acid scarification is one of the most common methods of stimulating seeds for germination. Temperature is one of the factors controlling the germination and distribution of plants in natural and agricultural ecosystems. All biological events respond to temperature, and all responses can be summarized in three main temperatures. The effects of temperature on plant development are the basis of the models used to predict germination time. The seeds of any species could germinate in a certain temperature range, which is described as the cardinal temperatures (minimum, optimum and maximum) Knowledge of seed germination characteristics, seed dormancy mechanism and response of these phenomena to environmental conditions in weeds, including Syrian bean-caper, can be useful in predicting its spread potential to other areas and its management, so the aim of this study was to identify the methods of dormancy breaking (knowledge of seed dormancy mechanism), the effect of light and alternating temperature on seed germination and also to determine the cardinal germination temperatures of this species.

Material and Methods

To evaluate the effect of some methods on breaking seed dormancy, and to evaluate the effect of alternative temperatures and light on seed germination and to determine the cardinal temperatures of Syrian bean-caper seed germination, experiments were performed in the weed research laboratory of Ferdowsi University of Mashhad in 2016. The experiments included: Experiment 1: Evaluation of different treatments for breaking Syrian bean-caper seed dormancy: This experiment was performed as a factorial in a completely randomized design with three replications. The first factor is constant germination temperatures at five levels (15, 20, 25, 30, 35 °C) and the second factor is different methods of breaking seed dormancy at 5 levels (without treatment (control), concentrated sulfuric acid (98%) at times 10, 15, 20, 25, 30 and 35 minutes, seed stratification at 5 °C for 7 and

https://doi.org/10.22067/jpp.2021.71460.1034

22 days, water soaking the seeds at 25 °C for 7 days and seed scarification using sandpaper for two minutes. Experiment 2: The effect of fluctuating temperatures, light regimes and breaking seed dormancy treatment on Syrian bean-caper seed germination: This experiment was performed as a factorial of three factors in a completely randomized design with three replications. The first factor is alternating temperatures at four levels (10/20, 25/15, 10/30 and 20/30 °C (Day/Night)), the second factor is the light regime at two levels (light and dark treatment (12 hours of light and 12 hours of darkness) and continuous dark and the third factor was the breaking seed dormancy treatment with concentrated sulfuric acid, (the best treatment of the first experiment) at two levels (application and non-application). Experiment 3: Determining the cardinal temperatures of Syrian bean-caper seed germination, this experiment was performed completely randomize design in three replicates. Experimental factors included constant temperatures of 0, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35 and 40 ° C with a light / dark period of 12/12 hours. SAS 9.1 software was used to analysis of variance and compare different treatments. To calculate the germination cardinal temperatures were used, 1. Segmented 2. Dent-like and 3. 4-parameter beta models.

Results and Discussion

The effect of breaking seed dormancy treatments, temperature and interaction of temperature and breaking seed dormancy treatments on Syrian bean-caper seed germination were significant at 1% level. Maximum germination (96%) was obtained in sulfuric acid treatment for 15 minutes. The results of this study showed that all of treatments have a significant effect (at 1% level) on seed germination rate and total seed germination of Syrian bean-caper. Seed germination of Syrian bean-caper was in the range of 10 to 35 ° C. Seed germination increased with increasing temperature from 10 to 40 °C. Because this plant is native to dryland, it also had significant seed germination at high temperatures. The best temperature for seed germination of this plant was between 20.5 and 25.5 °C. Seed germination stopped at temperatures below 5 °C and at 40 °C. Besides, seed germination was strongly affected by alternating temperatures. Light had not impact on the seed germination of Syrian bean-caper. The highest total seed germination was observed in breaking seed dormancy treatments related to sulfuric acid treatment for 15 minutes at 30 °C and in alternating temperature of 25/15 °C (Day/Night). The four-parameter beta model described the relationship between seed germination rate of Syrian bean-caper and temperature, better than other models. Based on the estimation of this model, the base, optimum and ceiling temperatures for Syrian bean-caper seed germination were 9.83, 16.33 and 39.29 ° C, respectively. Knowledge of these ecological parameters can be useful in quantifying the behavior of weeds in response to various climatic variables, especially temperature.

Conclusion

The wide range of Syrian bean-caper seed germination from 5 to 35 °C indicates the ability of this weed species to grow in different seasons and in various climatic conditions. Considering the mechanisms affecting the breaking seed dormancy of Syrian bean-caper seeds (remove of seed coat (hardness) and alternating temperatures) as well as the temperature range of seed germination of this plant, it seems that the spread of this plant would be possible in temperate and semi-arid regions. Also, due to the high competitiveness of this species and the ability to produce abundant seeds, this weed might be included in the list of problematic weeds in these areas.

Keywords: Alternating temperature, Climate change, Modeling, Scarification

نشریه پژوهش‌های حفاظت گیاهان ایران
https://jpp.um.ac.ir

مقاله پژوهشی
جلد ۳۷ شماره ٤، زمستان ١٤٠٢، ص. ٤٢٣-٤١١

شکستن خواب بذر و تعیین دماهای کاردینال جوانه‌زنی علف‌هرز قیچ لوبیایی (*Zygophyllum fabago* L.) با استفاده از مدل‌های رگرسیونی

مجید حیدری[1]- مهدی راستگو[2]*- علی قنبری[3]- قربانعلی اسدی[3]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۴/۲۳
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۶/۱۴

چکیده

به‌منظور ارزیابی اثر برخی روش‌ها بر شکست خواب بذرها و آگاهی از مکانیسم خواب بذرها، ارزیابی اثر دماهای متناوب و نور بر جوانه‌زنی بذرها و نیز تعیین دماهای کاردینال جوانه‌زنی بذرهای قیچ لوبیایی، آزمایش‌هایی در سال ۱۳۹۵ در دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد اجرا شد. آزمایش اول شامل ارزیابی اثر دماهای ثابت جوانه‌زنی (۱۵ تا ۳۵ درجه سانتی‌گراد) و روش‌های مختلف حذف خواب بذرها بود. آزمایش دوم شامل ارزیابی اثر دماهای متناوب (۲۰/۱۰، ۲۵/۱۵، ۳۰/۱۰ و ۳۰/۲۰ درجه سانتی‌گراد (شب/روز))، رژیم نوری و اعمال و عدم اعمال تیمار شکستن خواب بذور و آزمایش سوم اعمال دماهای ثابت (۰ تا ۴۰ درجه سانتی‌گراد) با دوره روشنایی/تاریکی ۱۲/۱۲ ساعت بود و با استفاده از برازش معادلات دوتکه‌ای، چهار پارامتره بتا و دندان مانند به رابطه بین دما و سرعت جوانه‌زنی مقادیر دماهای کاردینال تعیین شد. نتایج نشان داد که جوانه‌زنی بشدت تحت تأثیر دماهای ثابت و متناوب قرار گرفت. نور نقشی در جوانه‌زنی قیچ لوبیایی نداشت. به‌طوری‌که بیشترین درصد جوانه‌زنی در تیمارهای شکستن خواب مربوط به تیمار سولفوریک اسید ۱۵ دقیقه در دمای ۳۰ درجه سانتی‌گراد مشاهده شد. همچنین بیشترین درصد جوانه‌زنی در تیمار دماهای متناوب مربوط به تیمار دمای متناوب ۲۵/۱۵ درجه سانتی‌گراد (زمانی که بذرها خواب‌شکنی نشده بودند) به میزان ۵۴/۶ درصد بود. در برآورد دماهای کاردینال نیز مدل چهار پارامتره بتا نسبت به سایر مدل‌ها بهتر بود. براساس برآوردهای این مدل، دماهای پایه، مطلوب و حداکثر برای جوانه‌زنی بذرهای قیچ لوبیایی به‌ترتیب ۹/۸۳، ۱۶/۳۳ و ۳۹/۲۹ درجه سانتی‌گراد تعیین شد.

واژه‌های کلیدی: تغییر اقلیم، خراش‌دهی، دمای متناوب، مدل‌سازی

مقدمه

جنس *Zygophyllum* یکی از بزرگ‌ترین جنس‌های خانواده Zygophyllaceae است که در جهان دارای حدود ۱۵۰ گونه می‌باشد و از این تعداد، ۹ گونه‌ی *Z. simplex*، *Z. atriplicoides*، *Z. qatarense*، *Z. hamiense*، *Z. eichwaldii*، *Z. fabago*، *Z. oxianum*، *Z. miniatum* و *Z. pinnatum* در ایران ثبت شده‌اند (Izadi *et al.*, 2018; Zand *et al.*, 2022; Melendo *et al.*, 2010). قیچ لوبیایی[4] (اسفندک) (*Zygophyllum fabago* L.) گیاهی است بوته ای و چندساله به ارتفاع ۶۰ تا ۱۰۰ سانتی‌متر می باشد (Ghahreman, 1997). این گونه در کشورهای پاکستان، ایران، افغانستان، عراق، عربستان، شمال آفریقا، ایتالیا و ترکیه پراکنده است و بیشتر در مناطق خشک و نواحی استپی و در زمین‌های بایر و غیرقابل کشت حاشیه مزارع و باغها مشاهده می‌شود (Zarandi *et al.*, 2017). این گیاه از طریق رقابت برای نور، آب، عناصر غذایی و فضا به رقابت با سایر گیاهان پرداخته و فصل رشد طولانی، سطح برگ زیاد با شاخه‌های فراوان و تاج پوشش گسترده نشان از توانایی رقابت‌کنندگی بالای آن است. همچنین قیچ لوبیایی به‌وسیله بذر

۱، ۲ و ۳- به‌ترتیب دانش‌آموخته دکتری، استاد و دانشیار گروه اگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران
(*- نویسنده مسئول: Email: m.rastgoo@um.ac.ir)
https://doi.org/10.22067/jpp.2021.71460.1034

4- Syrian bean-caper

تکثیر شده و علاوه بر تولید بذر فراوان، مقدار بسیار زیادی دانه گرده تولید کرده که به‌وسیله هوا انتقال پیدا می‌کنند و این دانه‌های گرده دارای آلرژی‌زایی بالایی برای انسان دارند (Yaripour et al., 2017). به خاطر برگ‌های مومی، این گیاه ممکن است مدت طولانی در شرایط خشک مقاومت کند و بنابراین با گونه‌های بومی به رقابت بپردازد (Roche, 1991). همچنین تولید بذر بسیار زیاد این علف‌هرز گویای توانایی تهاجمی شدن بالای آن است. این گیاه هم اکنون در تمام کشورهای مدیترانه‌ای و جنوب غربی ایالات متحده مشاهده می‌شود که جزء گیاهان مهاجم محسوب می‌شود (Melendo et al., 2022). این گیاه در ایران نیز به‌عنوان یکی از علف‌های‌هرز باغات (Zand et al., 2010) و باغات پسته در کرمان (Izadi et al., 2018) فهرست شده است.

مهم‌ترین عاملی که از جوانه‌زنی بذرها به‌ویژه در علف‌های هرز جلوگیری می‌کند، خواب بذر است. شکستن خواب بذر به‌وسیله خراش دهی با سولفوریک اسید یکی از روش‌های مرسوم در تحریک بذرها برای جوانه‌زنی می‌باشد. به‌طوری‌که در بذرهای علف‌هرز کور[1] (Sozzi & Chiesa, 1995)، ماستونک[2]، سس[3] و تلخ بیان[4] (Ghadiri & Niazi, 2005)، تلخه[5] (Al-e Ebrahim et al., 2011) و بسیاری از بذرها باعث شکست خواب و جوانه‌زنی شده است. در تحقیقی تیمار سولفوریک اسید (۹۸٪) به‌مدت ۵ دقیقه، خواب بذرهای تاج خروس ریشه قرمز[6]، سوروف[7]، سلمه تره[8] و خارشتر[9] را شکست (Khaje-Hosseini et al., 2010).

دما یکی از عوامل کنترل جوانه‌زنی و پراکنش گیاهان در هر منطقه است (Baskin & Baskin, 2014). همچنین مهم‌ترین عامل محیطی است که رشد و نمو و عملکرد گیاهان را کنترل می‌کند. همه فرآیندهای زیستی به دما واکنش نشان می‌دهند و همه پاسخ‌ها را می توان در سه دمای اصلی خلاصه کرد. اثرات دما روی نمو گیاه، اساس مدل‌های مورد استفاده برای پیش‌بینی زمان جوانه‌زنی است. بذرهای هر گونه دارای توانایی جوانه‌زنی در محدوده حرارتی معینی هستند که به‌عنوان دماهای اصلی (دماهای کاردینال) (حداقل، بهینه و حداکثر)، توصیف می‌شود. دمای حداقل پایین‌ترین دمایی که رشد گیاه می‌تواند رخ دهد و به‌عنوان دمای پایه (T_b) نامیده می‌شود و هیچ رشدی در دمای پایین‌تر از آن رخ نمی‌دهد. در درجه حرارت بهینه، بذرها سریع‌تر جوانه زده و درصد جوانه‌زنی بالاتری در مقایسه با سایر رژیم‌های حرارتی خواهند داشت. درجه حرارت مناسب (T_o)، بر حسب تعریف دمایی است که در آن بیشترین درصد جوانه‌زنی در کوتاه‌ترین دوره زمانی انجام می‌شود و درجه حرارت حداکثر (T_m)، بالاترین درجه حرارتی است که بذرها قادر به جوانه‌زنی می‌باشد (Kmakar et al., 2006). با این حال واکنش شاخص‌های جوانه‌زنی به دما به عواملی مانند گونه گیاهی، منطقه رویش و کیفیت توده بذری بستگی دارد. رابطه بین دما و سرعت جوانه‌زنی به صورت غیرخطی است و معمولا از رگرسیون غیرخطی برای این رابطه استفاده می‌کنند (Sarmadi et al., 2017; Soltani et al., 2001).

پاسخ جوانه‌زنی گیاهان به شرایط نوری بسیار متفاوت و متنوع است. بذر برخی از گیاهان در تاریکی جوانه نمی‌زنند، ولی در برخی نور اثر جزئی بر جوانه‌زنی دارد. در تحقیقی که روی ۴۱ گونه گیاهی صورت گرفت بیان شد که ۲۰ گونه در شرایط نوری بهتر جوانه می‌زنند ولی ۱۱ گونه در شرایط نور و تاریکی به‌صورت یکسان جوانه‌زنی دارند (Zarandi et al., 2017).

آگاهی از خصوصیات جوانه‌زنی بذر، سازوکار خواب بذر و پاسخ این پدیده‌های حیاتی به شرایط محیطی در علف‌های‌هرز و از جمله قیچ لوبیایی، می‌تواند در پیش‌بینی پتانسیل انتشار آن به سایر مناطق، مدیریت و کنترل هر چه بهتر آن، مفید باشد، لذا این مطالعه با هدف شناخت روش‌های شکستن خواب (آگاهی از مکانیسم خواب بذر)، تأثیر نور و دمای متناوب بر جوانه‌زنی بذرها و نیز تعیین دماهای کاردینال جوانه‌زنی این گونه انجام شد.

مواد و روش‌ها

به‌منظور ارزیابی اثر برخی روش‌ها بر شکست خواب بذرها و اگاهی از مکانیسم خواب بذرها و همچنین انجام سایر آزمایش‌ها، ارزیابی اثر دماهای متناوب و نور بر جوانه‌زنی بذرها و نیز تعیین دماهای کاردینال جوانه‌زنی بذرهای قیچ لوبیایی، آزمایش‌هایی در سال ۱۳۹۵ در آزمایشگاه تحقیقات علف‌های هرز دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد اجرا شد. بذرهای قیچ لوبیایی در پاییز همان سال، همزمان با رسیدگی و با شروع ریزش بذر از گیاه مادری از مناطق آلوده به این علف هرز در پردیس دانشگاه فردوسی (طول جغرافیایی ۵۹ درجه و۳۸ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۱۵ دقیقه شمالی) مشهد برداشت شد. بذرها بوجاری و تمیز شده و تا شروع آزمایش، در آزمایشگاه و در دمای اتاق (۲±۲۵) نگهداری شدند. وزن هزار دانه قیچ لوبیایی (۰/۰۲ ± ۳/۳۳)گرم تعیین شد. آزمایش اولیه جوانه‌زنی روی بذرهای جمع‌آوری شده، حاکی از درصد پایین جوانه‌زنی (کمتر از ۲۰ درصد) و در نتیجه وجود خواب در بذور بود.

1- *Capparis spinose* L.
2- *Turgenia latifolia* (L.) Hoffm.
3- *Cuscuta campestris* L.
4- *Sophora alopecuroides* L.
5- *Acroptilon repens* (L.) DC.
6- *Amaranthus retroflexus* L.
7- *Echinochloa crus-galli* (L.) Beauv.
8- *Chenopodium album* L.
9- *Alhagi camelorum* L.

نحوه اجرای عمومی آزمون‌های جوانی‌زنی

در تمامی آزمون‌های جوانه‌زنی، جوانه‌زنی بذرهای قیچ لوبیایی با قرار دادن ۲۵ عدد بذر ضدعفونی شده با هیپوکلریت سدیم ۱ درصد به مدت ۳ دقیقه و سپس شستشو با آب مقطر به‌مدت ۲ دقیقه، در پتری دیش‌های شیشه‌ای استریل شده با اتوکلاو، با قطر ۹ سانتی‌متر تعیین شد. در هر پتری‌دیش یک کاغذ صافی واتمن شماره ۱ قرار گرفت و پس از قرار دادن بذرها روی آن، به هر پتری‌دیش هفت میلی‌لیتر آب مقطر اضافه شد. برای جلوگیری از تبخیر آب درون پتری‌دیش‌ها، از پارافیلم استفاده شد. سپس بذرور به ژرمیناتور در دماهای مورد نظر منتقل شدند و با شمارش بذرهای جوانه‌زده در صورت نیاز نسبت به افزودن آب به پتری‌دیش‌ها اقدام شد. شمارش بذرهای جوانه‌زده (خروج ریشه‌چه به اندازه دو میلی‌متر) در آزمایش تعیین دماهای کاردینال، ابتدا بصورت ساعتی پایش و سپس بصورت روزانه و در آزمایش‌های اول و دوم پس از ۱۴ روز انجام شد (پس از طی ۱۴ روز، سه روز دیگر هم جهت جوانه‌زنی به بذرها فرصت داده شد، و چون در هیچ یک تیمارها، تغییری در جوانه‌زنی مشاهده نشد، همان شمارش پس از ۱۴ روز ملاک قرار گرفت) (Soltani *et al.*, 2001).

درصد جوانه‌زنی کل و سرعت جوانه‌زنی در هر درجه حرارت محاسبه شد. اندازه‌گیری سرعت جوانه‌زنی بذرها (بذر در روز) در آزمایش اول و دوم با استفاده از معادله ۱ انجام شد.

$$Gr = \sum_{i=1}^{n} \frac{Si}{Di} \quad (۱)$$

در این معادله، Gr سرعت جوانه‌زنی، S_i تعداد بذرهای جوانه زده در هر شمارش و D_i تعداد روز شمارش تا روز n می‌باشد (Hardegree, 2006).

در آزمایش سوم ابتدا نمودارهای پراکنش نقاط درصد جوانه‌زنی تجمعی نسبت به زمان رسم و سپس تابع سه پارامتره سیگموئیدی بدان برازش داده شد (معادله ۲) (Ansari *et al.*, 2016).

$$G = \frac{a}{1+e^{-(\frac{x-x_{50}}{b})}} \quad (۲)$$

در این معادله G درصد جوانه‌زنی تجمعی، a حداکثر درصد جوانه‌زنی تجمعی، x_{50} زمان رسیدن به ۵۰ درصد حداکثر جوانه‌زنی بذر و b شیب منحنی یا فاز تأخیرو x روز یا ساعت است.

آزمایش اول: ارزیابی تیمارهای مختلف شکستن خواب بذرهای قیچ لوبیایی

این آزمایش بصورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار انجام شد. فاکتور اول دماهای ثابت جوانه‌زنی در پنج سطح (۱۵، ۲۰، ۲۵، ۳۰، ۳۵ درجه سانتی‌گراد) و فاکتور دوم روش‌های مختلف حذف خواب بذرها در ۵ سطح (بدون تیمار (شاهد)، سولفوریک اسید غلیظ (۹۸٪) در زمان‌های ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵، ۳۰ و ۳۵ دقیقه، سرمادهی مرطوب در دمای ۵ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ۷ و ۲۲ روز، خیساندن بذر در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۷ روز و خراش دهی با کاغذ سنباده به‌مدت دو دقیقه) بود (Ansari *et al.*, 2016; Ebrahimi & Eslami, 2014; Khajeh-Hosseini *et al.*, 2010). بذرهای تیمار شده توسط سولفوریک اسید غلیظ ابتدا با آب شیر و سپس با آب مقطر فراوان به‌مدت ۱۵ دقیقه شسته شده و روی دستمال کاغذی خشک شدند. شمارش تعداد بذرهای جوانه زده ۱۴ روز پس شروع آزمایش انجام شد. از نرم‌افزار SAS 9.1 جهت تجزیه واریانس و مقایسه تیمارهای مختلف استفاده شد. مقایسه میانگین‌ها نیز با استفاده از آزمون LSD در سطح معنی‌داری ۵ درصد انجام شد. همچنین پیش از آنالیز واریانس و با استفاده از آزمون اندرسون – دارلینگ[1] در نرم‌افزار Minitab 17.0، آزمون نرمال بودن داده‌ها انجام شد و در مواردی که داده‌ها نرمال نبود، از تبدیل زاویه‌ای (arcsin√x) استفاده شد.

آزمایش دوم: تأثیر دماهای متناوب، رژیم‌های نوری و تیمار شکستن خواب بر جوانه‌زنی بذرهای قیچ لوبیایی

این آزمایش نیز به‌صورت فاکتوریل سه فاکتوره در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار انجام شد. فاکتور اول دماهای متناوب در چهار سطح (۲۰/۱۰، ۲۵/۱۵، ۳۰/۱۰ و ۳۰/۲۰ درجه سانتی‌گراد (شب/روز))، فاکتور دوم رژیم نوری در دو سطح (تیمار نور و تاریکی (۱۲ساعت روشنایی و ۱۲ ساعت تاریکی) و تیمار تاریکی مداوم و فاکتور سوم تیمار شکستن خواب با سولفوریک اسید غلیظ تیمار برتر آزمایش اول) در دو سطح (اعمال و عدم اعمال) بود. برای اعمال تاریکی پتری‌دیش‌ها توسط فویل آلومینیومی پوشیده شدند تا از نفوذ نور جلوگیری به عمل آید. شمارش تعداد بذرهای جوانه زده ۱۴ روز پس شروع آزمایش انجام شد. از نرم‌افزار SAS 9.1 جهت تجزیه واریانس و مقایسه تیمارهای مختلف استفاده شد. مقایسه میانگین‌ها نیز با استفاده از آزمون LSD در سطح معنی‌داری ۵ درصد انجام شد. همچنین پیش از آنالیز واریانس و با استفاده از آزمون اندرسون– دارلینگ در نرم‌افزار Minitab 17.0، آزمون نرمال بودن داده‌ها انجام شد و در مواردی که داده‌ها نرمال نبود، از تبدیل زاویه‌ای (arcsin√x) استفاده شد.

آزمایش سوم: تعیین دماهای کاردینال جوانه‌زنی بذرهای قیچ لوبیایی

این آزمایش بصورت کاملاً تصادفی و در سه تکرا انجام شد.

1- Anderson-Darling

تیمارهای آزمایش شامل دماهای ثابت ۰، ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵، ۳۰، ۳۵ و ۴۰ درجه سانتی‌گراد با دوره روشنایی/تاریکی ۱۲/۱۲ ساعت بود (بهترین تیمار نوری آزمایش دوم) که در انکوباتور اعمال شد.

برای محاسبه دماهای کاردینال جوانه‌زنی از معادلات ۳ تا ۵ استفاده شد.

مدل خطوط متقاطع[1] با استفاده از مجموعه معادلات ۳ محاسبه شد (Soltani *et al.*, 2006).

$$Y=(T-T_b)/T_o-T_b \text{ if } T_b<T<T_o \quad (۳)$$
$$Y=(T_c-T)/T_c-T_o \text{ if } T_o<T<T_c$$
$$Y = 0 \text{ if } T<T_o \text{ or } T<T_c$$

مدل دندان مانند[2] با استفاده از مجموعه معادلات ۴ (Piper *et al.*, 1996)

$$Y = ((T-T_b)/(T_o1-T_b)) \text{ if } T_b<T\leq T_o1 \quad (۴)$$
$$Y = ((T_c-T)/(T_c-T_o2)) \text{ if } T_o2<T\leq T_c$$
$$Y = 1 \text{ if } T_o1< T\leq T_o2$$
$$Y =0 \text{ if } T\leq T_c \text{ or } T\geq Tc$$

مدل چهار پارامتره بتا (β) با استفاده از معادله ۵ (Yan & Hunt, 1999)

$$Y = (Tc-T)/(Tc-To)\times(T-Tb)/(To-Tb)\ (To-Tb)/(Tc-To) \quad (۵)$$

در این معادلات Y معیاری از سرعت جوانه‌زنی (بذر در روز)، T_b دمای پایه، T_o دمای مطلوب، T_{o1} حد پایین دمای مطلوب، T_{o2} حد بالای دمای مطلوب، T_c دمای حداکثر و c پارامتر شکل در تابع بتا (β) می‌باشد. جهت ترسیم نمودارها و نیز برازش توابع از نرم‌افزار Sigma plot نسخه ۱۲/۳ استفاده شد. همچنین برای مقایسه مدل های مختلف علاوه بر ضریب تبیین (R^2)، همچنین از جذر میانگین مربعات خطا (RMSE[3]) طبق معادله ۶ استفاده شد (Ansari *et al.*, 2016).

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum(Y_o-Y_p)^2}{n}} \quad (۶)$$

در این معادله Y_o و Y_p به‌ترتیب مقادیر داده‌های مشاهده شده و پیش‌بینی شده و n تعداد نقاط می‌باشد.

نتایج و بحث

آزمایش اول: ارزیابی تیمارهای شکستن خواب بذر

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که تأثیر تیمارهای شکستن خواب، اثر دما و اثر متقابل دما و تیمارهای شکستن خواب بر سرعت و درصد جوانه‌زنی کل بذرهای قیچ لوبیایی در سطح یک درصد معنی‌دار بود (داده‌ها نشان داده نشده‌اند). در بین تیمارهای شکستن خواب، حداکثر جوانه‌زنی به میزان ۹۶ درصد مربوط به اثر متقابل تیمار سولفوریک اسید ۱۵ دقیقه و دمای ۳۰ درجه سانتی گراد و کمترین درصد جوانه‌زنی به میزان صفر درصد (عدم جوانه‌زنی) مربوط به اثر متقابل دمای ۱۵ و ۳۵ درجه سانتی‌گراد در تیمار ۱۰ دقیقه سولفوریک اسید، و سرمادهی مرطوب (۷ و ۲۲ روز) بود (جدول ۱). خراش‌دهی با سولفوریک اسید به دلیل حذف لایه سلولی ضخیم زیر پوشش بذر، باعث نفوذ بیشتر و بهتر آب، گازها، افزایش آماس بذر، کاهش مقاومت پوسته بذر و بدنبال آن رهایی از محدودیت پوسته بذر می‌شود (Ebrahimi & Eslami, 2014).

با بررسی‌هایی که در این تحقیق صورت گرفت مشخص شد که خواب بذر در قیچ لوبیایی از نوع فیزیکی بوده و با از بین رفتن پوسته بذر، جوانه‌زنی حتی تا ۹۶ درصد نیز اتفاق افتاد. در آزمایشی که روی شکستن خواب بذر اسپرک زرد[4] (Ebrahimi & Eslami, 2014) انجام شد مشخص شد که تیمار سولفوریک اسید ۹۶ ٪ به مدت ۳۰ ثانیه سبب بیشترین جوانه‌زنی (۷۳/۳ درصد) بذرهای اسپرک زرد در شرایط تاریکی شد و کمترین درصد جوانه‌زنی (۸ درصد) در تیمار شاهد در شرایط نور/تاریکی بدست آمد. همچنین شریفی و همکاران (Sharifi *et al.*, 2012) در بررسی خود بیان داشتند که با اعمال تیمار خراش‌دهی مکانیکی روی خارخسک[5] جوانه‌زنی از ۱۳ به ۹۹ درصد رسید. در بررسی مشابهی که روی دو گونه Boiss. & Buhse *Zygophyllum eurypterum* و *Zygophyllum eichwaldii* C.A.M.، انجام شد مشخص شد که تیمار خراش‌دهی با کاغذ سنباده به‌ترتیب ۵۳ و ۵۴/۲ درصد نسبت به تیمار شاهد باعث افزایش جوانه‌زنی شد. در ضمن این تیمار بیشترین تأثیر را در بهبود سرعت جوانه‌زنی این دو گونه داشت (Tavili *et al.*, 2011).

1- Segmented
2- Dent-like model
3- Root mean of squares of error
4- *Reseda lutea* L.
5- *Tribulus terrestris* L.

جدول ۱. مقایسه میانگین اثرات متقابل دما و روش‌های شکستن خواب بذر بر سرعت جوانه‌زنی و درصد جوانه‌زنی کل بذرهای قیچ لوبیایی

Table 1. Mean comparison of interaction effects of temperature and breaking seed dormancy methods on germination rate and total germination of Syrian bean-caper Seeds

صفت Trait	Temperature (°C) دما (درجه سانتیگراد)	شاهد (بدون تیمار) Control (Without treatment)	خراش‌دهی با سولفوریک اسید (دقیقه) Sulfuric acid scarification (min)						سرمادهی مرطوب در دمای ۵ درجه سانتیگراد Stratification at 5 °C		خیساندن بذرها در آب (۷ روز) Water soaking (7 day)	خراش دهی با کاغذ سنباده (۲دقیقه) Sandpaper scarification (2 minutes)
			10	15	20	25	30	35	(۷ روز) 7 Days	(۲۲ روز) 22 Days		
سرعت جوانه‌زنی (بذر در روز) Germination rate (Seed per day)	15	2.24 $^{n-p}$	0.00 ^{r}	3.22 ^{mn}	5.11 ^{lm}	14.15 $^{f-h}$	14.87 $^{e-g}$	19.00 ^{b}	0.00 ^{r}	0.00 ^{r}	0.37 $^{p-r}$	0.20 ^{r}
	20	2.20 $^{n-p}$	0.16 ^{qr}	10.65 ^{j}	7.80 ^{k}	13.2 $^{g-i}$	13.72 $^{f-h}$	18.47 ^{bc}	1.24 $^{o-r}$	2.16 $^{n-p}$	0.83 $^{o-r}$	1.91 $^{n-r}$
	25	2.06 $^{n-q}$	0.38 $^{p-r}$	13.85 $^{f-h}$	9.94 ^{j}	16.27 ^{de}	12.69 ^{hi}	20.97 ^{a}	0.18 ^{qr}	0.73 $^{o-r}$	1.07 $^{o-r}$	1.29 ^{r}
	30	1.11 $^{o-r}$	0.00 ^{r}	16.88 ^{cd}	13.52 $^{f-h}$	14.03 $^{f-h}$	14.67 $^{e-g}$	19.89 ^{ab}	2.04 $^{n-q}$	2.48 ^{no}	1.23 $^{o-r}$	1.67 $^{n-r}$
	35	0.51 $^{p-r}$	0.00 ^{r}	5.92 ^{kl}	11.39 ^{ij}	15.19 $^{d-f}$	16.33 ^{de}	19.25 ^{ab}	0.00 ^{r}	0.00 ^{r}	0.94 ^{r}	1.51 $^{n-r}$
جوانه‌زنی کل (درصد) Total germination (%)	15	61.33 $^{h-n}$	0.00 ^{u}	26.66 st	34.66 $^{p-s}$	80.00 $^{a-g}$	93.33 $^{a-c}$	92.00 $^{a-c}$	0.00 ^{u}	0.00 ^{u}	16.00 ^{tu}	5.33 ^{u}
	20	86.66 $^{a-d}$	2.66 ^{u}	60.00 $^{i-n}$	48.00 $^{m-q}$	77.33 $^{b-i}$	69.33 $^{d-k}$	85.33 $^{a-e}$	34.66 $^{p-s}$	61.33 $^{h-n}$	26.66 st	48.00 $^{m-q}$
	25	77.33 $^{b-i}$	5.33 ^{u}	82.66 $^{a-f}$	53.33 $^{k-o}$	86.66 $^{a-d}$	62.66 $^{g-n}$	93.33 $^{a-c}$	5.33 ^{u}	16.00 ^{tu}	37.33 $^{o-s}$	37.33 $^{o-s}$
	30	37.30 $^{o-r}$	0.00 ^{u}	96.00 ^{a}	88.00 $^{a-c}$	65.33 $^{f-m}$	76.00 $^{c-j}$	92.00 $^{a-c}$	68.00 $^{e-l}$	52.00 $^{k-p}$	45.33 $^{j-n}$	58.66 $^{j-n}$
	35	21.30 $^{r-t}$	0.00 ^{u}	50.66 $^{l-q}$	81.33 $^{a-f}$	84.00 $^{a-e}$	78.66 $^{a-h}$	94.66 ^{ab}	0.00 ^{u}	0.00 ^{u}	33.33 $^{q-t}$	57.33 $^{k-n}$

میانگین‌های دارای حروف مشابه در هر ستون بر اساس آزمون حداقل تفاوت معنی داری (LSD) تفاوت معنی داری ($P \leq 0.05$) ندارند.

The Means within a column followed by the same letters are not significantly different at $p \leq 0.05$ according to the LSD test.

با افزایش دما از ۱۰ تا ۳۰ درجه سانتی‌گراد درصد جوانه‌زنی افزایش نشان داد، اما از دمای ۳۰ درجه سانتی‌گراد به بعد روند کاهشی در درصد جوانه‌زنی مشاهده شد. نتایج سایر مطالعات نیز بهترین دمای جوانه‌زنی برای این گیاه را دمای بین ۲۰/۵ تا ۲۵/۵ تعیین کرده‌اند (Baskin & Baskin, 2004). همچنین در پژوهشی که تأثیر نور و دما بر جوانه‌زنی قیچ لوبیایی مطالعه شد، مشخص شد که دمای ۲۸ درجه سانتی‌گراد و شرایط تاریکی منجر به افزایش جوانه‌زنی بذر شد (Zarandi *et al.*, 2017).

نکته قابل توجه در این بررسی درصد جوانه‌زنی بالا در تیمار شاهد است که بیشترین درصد جوانه‌زنی مربوط به دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد به میزان ۸۶/۶۶ درصد بود (جدول ۱). اما سرعت جوانه‌زنی در تیمار شاهد از سرعت پایین‌تری نسبت به تیمار شکستن خواب توسط سولفوریک اسید برخوردار است. که دلیل آن جوانه‌زنی بیش از نیمی از بذرها در روزهای پایانی شمارش جوانه‌زنی (روز سیزدهم) بود. با توجه به کاربرد سولفوریک اسید به‌عنوان یکی از روش‌های مرسوم جهت شکستن خواب بذرهای مختلف که در آزمایش‌های فراوانی به اثبات رسیده است (Ebrahimi & Eslami, Ansari *et al.*, 2016 ; 2014; Khajeh-Hosseini *et al.*, 2010). اما کاربرد سولفوریک اسید غلیظ در زمان‌های بیشتر احتمالاً سبب آسیب به گیاهچه و در نتیجه عدم رشد گیاهچه در روزهای شمارش بذرها شد. به همین جهت از تیمار سولفوریک اسید ۱۵ دقیقه در دمای ۲۰ درجه سانتی گراد برای سایر آزمایش‌ها استفاده شد. طی چرخه زندگی یک گیاه، بذرها بیشترین تحمل شرایط سخت محیطی را دارا هستند. با این وجود گیاهچه‌ها بسیار حساس اند و این نکته برای گیاهان بیابانی بسیار حائز اهمیت می باشد (Zarandi *et al.*, 2017). نتایج تحقیقی که روی بذرهای خارخسک انجام شد، نشان داد که خارخسک در دامنه دمایی از ۱۰ تا ۳۵ درجه سانتی‌گراد جوانه می‌زند که نشان از توانایی و سازگاری بالایی آن می‌باشد (Sarmadi *et al.*, 2017). همچنین در بررسی دیگری که روی علف شور[1] انجام شد مشخص شد که این گیاه توانایی جوانه‌زنی در بازه وسیعی از دماها (۵ تا ۴۰ درجه سانتی‌گراد) را دارد (Asgarpour *et al.*, 2014).

تأثیر همزمان رژیم‌های نوری، دمای متناوب و تیمار شکستن خواب بر جوانه‌زنی بذرهای علف‌هرز قیچ لوبیایی

نتایج نشان داد که تأثیر رژیم‌های نوری و دماهای متناوب بر درصد جوانه‌زنی کل معنی‌دار ($P\leq0/05$) بود. اما سرعت جوانه‌زنی فقط تحت تأثیر تیمار شکستن خواب بذرها قرار گرفت ($P\leq0/01$) و تحت تأثیر تیمار رژیم نوری و دماهای متناوب قرار نگرفت (داده‌ها نشان داده نشده‌اند).

این نتایج نشان داد که رژیم نوری و دماهای متناوب تأثیری در افزایش سرعت جوانه‌زنی بذرهای قیچ لوبیایی ندارد. در واقع رژیم نوری و دماهای متناوب بر جوانه‌زنی کل مؤثرند ولی بر سرعت جوانه زنی خیر که نشان‌دهنده نقش کلیدی این دو عامل در شروع جوانه‌زنی است و ادامه جوانه‌زنی (سرعت جوانه‌زنی) بر خلاف دماهای ثابت، تحت تأثیر این عوامل قرار نمی‌گیرد. بیشترین درصد جوانه‌زنی کل بذرهای دارای خواب قیچ لوبیایی در دمای متناوب ۲۵/۱۵درجه سانتی گراد و در شرایط تاریکی مداوم به میزان ۵۴/۶ درصد و کمترین جوانه‌زنی در تیمار ۳۰/۲۰ درجه سانتی‌گراد و در شرایط نور-تاریکی به میزان ۱۳/۳ درصد اتفاق افتاد (جدول ۲).

در شرایطی که تیمار شکستن خواب روی بذرها انجام شد، تفاوت معنی‌داری بین تیمارهای جوانه‌زنی وجود نداشت و در همه دماها، جوانه‌زنی به صورت یکسانی رخ داد (جدول ۲). این موضوع نشان داد که با حذف سختی پوسته (شکستن خواب بذر)، جوانه‌زنی بذر هیچ واکنشی نسبت به رژیم نوری نشان نداد. در تحقیقی مشابه در اسپرک زرد (*Reseda lutea* L.) بیشترین درصد جوانه‌زنی (۷۶ درصد) در دمای ۲۵/۱۵ درجه سانتی‌گراد تحت شرایط تاریکی مداوم و کمترین جوانه‌زنی (۱۰ درصد) در دمای ۲۰/۱۰ درجه سانتی‌گراد در شرایط نور/تاریکی مشاهده شد (Ebrahimi & Eslami, 2014). بر این اساس می‌توان گفت که بذرهای علف‌هرز قیچ لوبیایی همانند بذرهای اسپرک زرد فاقد خاصیت فتوبلاستیک هستند. از سوی دیگر می‌توان بیان کرد که احتمالاً در بذرهای قیچ لوبیایی از نور برای تعیین عمق قرار گیری بذر، استفاده نمی‌شود ولی دماهای متناوب که از خصوصیات اعماق کم خاک است، یکی از مکانیزم‌های اصلی تشخیص عمق قرارگیری بذرها در خاک است.

نور شرایط خواب بذر را برای محافظت گیاهچه در شرایط سخت محیطی تسهیل می‌کند و می‌تواند پاسخ‌های جوانه‌زنی را به‌صورت مستقل یا در برهمکنش با سایر عوامل محیطی مانند شوری و دما کنترل کند (El-Keblawy *et al.*, 2011). بذرهای برخی از گیاهان از جمله (*Haloxylon recurvum* L. و *Zygophyllum simplex* L.) در حضور نور (Khan & Ungar, 1997) و *Lasiurus scindicus* L. و *Panicum turgidum* در تاریکی مطلق بهتر جوانه می‌زنند. اما بذرهای تعدادی از گیاهانی مانند *Atriplex stocksii* L. بطور یکسان در نور و تاریکی جوانه می‌زنند (El-Keblawy *et al.*, 2011).

1- *Salsola kali* L.

جدول ۲- مقایسات میانگین تاثیر دماهای متناوب، رژیم نور و تیمار شکستن خواب بر درصد جوانه‌زنی کل بذرهای قیچ لوبیایی

Table 2- Mean comparisons of the effect of alternative temperatures, light regimes and breaking seed dormancy treatment on total seed percentage of Syrian bean caper

دماهای متناوب (شب/روز) (درجه سانتیگراد) Alternative temperature (Day/Night) (° C)	رژیم نوری Light regime	بدون شکستن خواب بذر Without breaking seed dormancy	شکستن خواب بذر Breaking seed dormancy
20/10	تاریکی Dark	16.0 [de]	90.6 [a]
	نور Light	17.3 [de]	82.6 [a]
25/15	تاریکی Dark	54.6 [b]	82.6 [a]
	نور Light	20.0 [de]	90.6 [a]
30/10	تاریکی Dark	17.3 [de]	84.0 [a]
	نور Light	13.3 [de]	86.6 [a]
30/20	تاریکی Dark	22.6 [d]	88.0 [a]
	نور Light	5.3 [f]	84.0 [a]

میانگین‌های دارای حروف مشابه در هر ستون بر اساس آزمون حداقل تفاوت معنی‌داری (LSD) تفاوت معنی‌داری (P≤0.05) ندارند.
The means within a column followed by the same letters are not significantly different at p≤0.05 according to the LSD test.

دماهای کاردینال جوانه‌زنی

دماهای مختلف تأثیر معنی‌داری (P≤۰/۰۱) بر جوانه‌زنی کل و سرعت جوانه‌زنی داشتند (داده‌ها نشان داده نشده‌اند). بیشترین درصد و سرعت جوانه‌زنی مربوط به دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد به میزان (۸۶/۷ درصد و ۲/۴۶ بذر در روز) بود و کمترین درصد و سرعت جوانه‌زنی مربوط به دمای صفر و ۴۰ درجه سانتی‌گراد به میزان صفر بود (جدول ۳). جوانه‌زنی در دماهای پایین تر از ۵ درجه سانتیگراد و ۴۰ درجه سانتیگراد متوقف شد (جدول ۳). فعالیت آنزیم‌ها با افزایش دما زیاد شده و به دنبال آن سرعت جوانه‌زنی افزایش می‌یابد، با این‌حال دماهای خیلی زیاد باعث توقف فعالیت برخی از آنزیم‌ها می شوند (Bonhome, 2000).

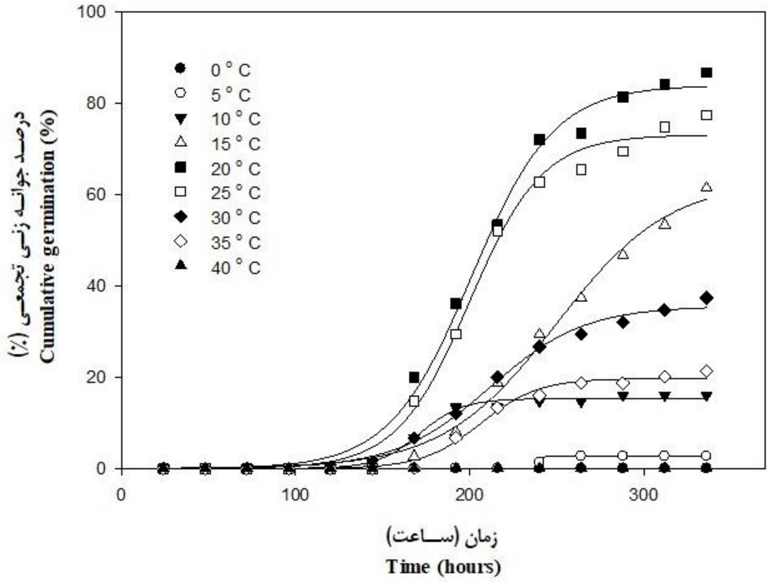
برای کمی‌سازی جوانه‌زنی تجمعی در طی زمان در دماهای مختلف (۰، ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵، ۳۰، ۳۵ و ۴۰ درجه سانتی‌گراد) از معادله سیگموییدی سه پارمتره استفاده شد (شکل ۱ و جدول ۵). همانطور که مشاهده می شود الگوی جوانه‌زنی بذرهای قیچ لوبیایی از روند سیگموئیدی تبعیت کرده و این مدل برازش مناسبی به داده ها نشان داد (شکل ۱ و جدول ۵).

جدول ۳- مقایسه میانگین تأثیر درجه حرارت‌های مختلف بر درصد جوانه‌زنی کل و سرعت جوانه‌زنی بذرهای قیچ لوبیایی

Table 3- Means comparison of total germination and germination rate as affected by different temperature in Syrian bean caper

دما (درجه سانتیگراد) Temperature (° C)	جوانه‌زنی کل (درصد) Total Germination (%)	سرعت جوانه‌زنی (بذر در روز) Germination rate (seed per day)
0	0.0 [c]	0.00 [c]
5	2.7 [bc]	0.06 [c]
10	17.3 [bc]	1.05 [b]
15	61.3 [a-c]	2.25 [a]
20	86.7 [a]	2.20 [a]
25	77.3 [ab]	2.07 [a]
30	37.3 [a-c]	1.12 [b]
35	21.3 [a-c]	0.51 [c]
40	0.0 [c]	0.00 [c]

میانگین‌های دارای حروف مشابه در هر ستون بر اساس آزمون حداقل تفاوت معنی‌داری (LSD) تفاوت معنی‌داری (P≤0.05) ندارند.
The Means within a column followed by the same letters are not significantly different at p≤0.05 according to the LSD test.



شکل ۱- درصد جوانه‌زنی تجمعی بذرهای قیچ لوبیایی در طی زمان در پاسخ به دماهای مختلف

نقاط مشاهدات واقعی و خطوط حاصل از برازش مدل سیگموئیدی سه پارامتره می‌باشند.

Figure 1- Cumulative germination percentage of Syrian bean caper seeds over time in response to different temperatures

Points are real observations and lines resulting from fitting three parameters sigmoid function.

جدول ٤- زمان رسیدن به ۵۰ درصد جوانه‌زنی بذرها و پارامترهای حاصل از برازش معادله سیگموئیدی سه پارامتره به داده‌های جوانه‌زنی بذرهای قیچ لوبیایی در طی زمان، در دماهای مختلف

Table 4- Time to reach to 50% seed germination and parameters resulted from fitting three parameters sigmoid function to seed germination of Syrian bean caper over time at different temperature

دما (درجه سانتیگراد) Temperature (°C)	حداکثر جوانه‌زنی تجمعی (a) (درصد) Maximum seed germination (%) (a)	شیب خط (b) b (slope)	زمان رسیدن به ۵۰ درصد جوانه‌زنی (ساعت) X_{50} Time to reach 50% germination (hour)	ضریب تبیین R^2	سطح معنی‌داری Probability level
0	0.00	–	–	-	-
5	2.66*	0.96*	240.00*	0.97	0.0001
10	15.25*	12.32*	171.14*	0.99	0.0001
15	63.11*	32.55*	249.61*	0.99	0.0001
20	83.83*	23.55*	201.00*	0.99	0.0001
25	72.98*	20.78*	199.93*	0.99	0.0001
30	35.49*	26.98*	211.61*	0.99	0.0001
35	19.69*	16.79*	206.29*	0.98	0.0001
40	0.00	–	–	-	-

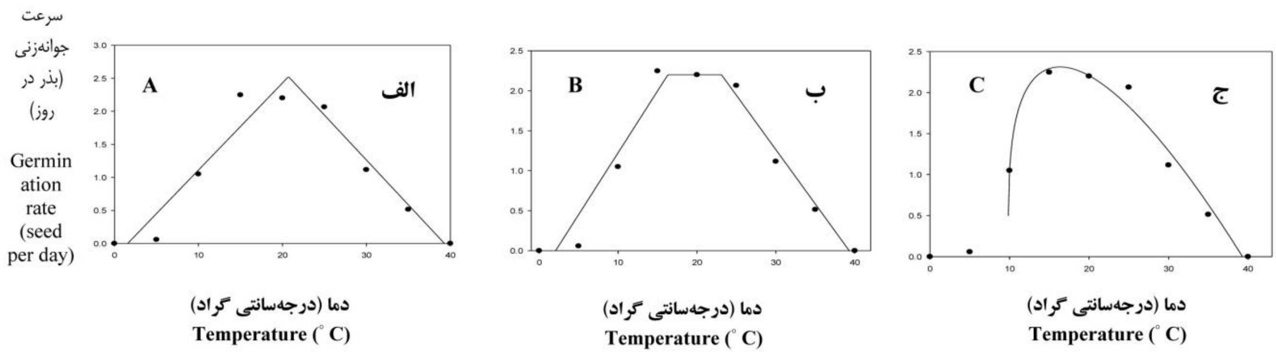
*: معنی‌دار بر اساس آزمون t در سطح ۵ درصد.

*: Significant based in t-Test at 5% probability.

با توجه به شکل ۱ و جدول ۴، دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد بر مبنای میزان جوانه‌زنی حداکثر (a) و زمان رسیدن به ۵۰ درصد جوانه‌زنی (x_{50}) بهترین دما برای جوانه‌زنی بذرهای قیچ لوبیایی می‌باشد. دامنه گسترده جوانه‌زنی بذرهای قیچ لوبیایی از ۵ تا ۳۵ درجه سانتی‌گراد، نشان از توانایی بالای این گونه برای رویش در فصول مختلف و در شرایط آب و هوایی متنوع می‌باشد.

اغلب، سرعت جوانه‌زنی نسبت به درصد جوانه‌زنی از حساسیت بالاتری نسبت به دما برخوردار است (Tabrizi *et al.*, 2004). به همین جهت از واکنش سرعت جوانه‌زنی نسبت به دما برای بدست آوردن درجه حرارت‌های کاردینال استفاده می‌شود (Hardgree, 2006). همانطور که قبلاً ذکر شد، دماهای کاردینال (دمای پایه، مطلوب، و حداکثر) جوانه‌زنی بذرهای قیچ لوبیایی با استفاده برازش

سه مدل خطوط متقاطع، دندان مانند و چهار پارامتره بتا بـه داده‌هـای رابطه دما و سرعت جوانه‌زنی تعیین شدند. براساس نتایج این آزمایش دماهای کاردینال جوانه‌زنی (پایه، مطلوب و حداکثر) به‌ترتیب در دامنه ۱/۵۷ تا ۹/۸۳)، (۱۶/۳۳ تا ۲۳/۱۰) و (۳۹/۲۹) بود (شکل ۲ و جدول ۵). با توجه به اینکه در این مطالعه همه مدل‌ها، مقادیر جذر میـانگین مربعات (RMSE) نزدیک به هم بود، از شاخص ضـریب تبیـین (R^2) استفاده شد و بر این اسـاس مـدل چهـار پـارامتره بتـا بهتـرین مـدل تشخیص داده شد و در نتیجه دماهای کاردینال جوانه‌زنی بذرهای قیچ لوبیایی براساس این مدل معرفی تعیین شد (شکل ۲ و جدول ۵).



شکل ۲- رابطه بین دما و سرعت جوانه‌زنی (بذر در روز) بذرهای قیچ لوبیایی بر اساس مدل‌های الف) خطوط متقاطع ب) دندان مانند ج) بتا چهار پارامتره

Figure 2- Relationship between temperature and germination rate (seeds per day) based on (A) segmented (B) dent-like (C) four parameters beta models for Syrian bean-caper

عباسیان و همکاران (Abbasian *et al*., 2017) در بررسـی کـه روی گیاه نوظهور گل گندم (*Centaurea balsamita* Lam.) انجام دادند، بیان کردند که بالاترین درصد و سرعت جوانه‌زنـی مربـوط بـه دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد بـود. کوپلنـد و مکدونالـد (Copeland & McDonald, 1995) بیان داشـتند کـه دماهـای مطلـوب و حـداکثر جوانه‌زنی بیشتر بذرها بین ۱۵ تا۳۰ و ۳۰ تا۴۰ درجه سانتی‌گـراد مـی باشد. در مجموع، دامنه دمایی مطلوب برای جوانه‌زنی قیچ لوبیایی ۲۰ تا ۲۵ درجه سانتی‌گراد است (شکل ۲) که با تحقیق مشابهی که روی گیاه قیچ لوبیایی انجام شد مطابقت دارد (Zarandi *et al*., 2017). نتـــایج مطالعـــه‌ای در بیوتیـــپ‌هـــای مختلـــف ســـلمه تـــره (*Chenopodium album*) (Leblanc, 2003) نشان داد کـه دمـای حداقل جوانه‌زنی بین ۲ تا ۷ درجه سانتی‌گراد، دمای مطلوب بـین ۲۰ تا ۲۵ درجه سانتی‌گراد و دمای حداکثر بین ۳۵ تا۴۰ درجه سانتی‌گـراد بود. رومـن و همکـاران (Roman *et al*., 1999) دماهـای کاردینـال جوانه‌زنی را برای بذرهای سلمه تره به‌ترتیب دمای پایـه ۴/۲، دمـای بهینه ۲۶ و دمای بیشینه ۳۹/۵ درجه سانتی‌گراد تعیین کردند.

جدول ۵- ضرایب تبیین و دماهای کاردینال جوانه‌زنی قیچ لوبیایی برآورد شده براساس برازش معادلات خطوط متقاطع، دندانه مانند و چهار پارامتره بتا به رابطه بین سرعت جوانه‌زنی و دما

Table 5- Coefficient of determination and cardinal germination temperatures of bean shears estimated based on fitting equations of Segmented, Dent-like and four beta parameters to the relationship between germination rate and temperature

دما (درجه سانتیگراد) Temperature (° C)	مدل خطوط متقاطع Segmented model	مدل دندان مانند (DL) Dent-like model	مدل چهار پارامتره بتا Beta 4 parametrs model
پایه (T_b)	1.57	2.07	9.83
مطلوب (T_o)	20.72	16.30-23.10	16.33
حداکثر (T_m)	39.29	39.29	39.29
ضریب تبیین (R^2)	0.88	0.88	0.97
RMSE	1.368345	1.36973	1.36002

نتیجه‌گیری

بطور کلی نتایج ایـن پـژوهش نشـان از وجـود مکانیسـم خـواب فیزیکی در بذرهای گیاه قیچ لوبیایی بود. دمای متناوب نیز یکی دیگر از مکانیسم‌های شکست خواب بذرهای این گیاه بود. باتوجه به اینکـه جوانه‌زنی بذرهای خواب و غیرخواب نسبت به نور واکنش نشان نـداد، می‌توان گفت که بذرهای قیچ لوبیـایی فتوبلاسـت نیسـتند. دماهـای پایه، مطلوب و حداکثر جوانه‌زنی بذرهای قیچ لوبیایی بـه‌ترتیـب ۹/۸،

۱۶/۳ و ۳۹/۲ درجه سانتی‌گراد و بهترین دامنه دمایی برای جوانه‌زنی بین ۱۶ تا ۲۳ درجه بود. با توجه به مکانیسم‌های مؤثر بر شکست خواب بذرهای قیچ لوبیایی (حذف سختی پوسته و تیمار دماهای متناوب) و نیز دامنه دمایی جوانه‌زنی بذرهای این گیاه، به‌نظر می‌رسد گسترش این گیاه در مناطق با اقلیم معتدل و نیمه خشک افزایش خواهد یافت. از سوی دیگر با توجه به توان رقابتی بالای این گونه و قابلیت تولید بذر فراوان، بزودی این گونه علف هرز در فهرست علف های هرز مساله ساز این مناطق قرار خواهد گرفت. از بعد مدیریتی نیز به‌نظر می‌رسد پایش جمعیت‌های این گونه در مناطق مذکور می بایست با دقت نظر بیشتری صورت گیرد و از سوی دیگر با توجه به اثرات ناشی از تغییر اقلیم و بهره‌گیری از مدل‌ها و سناریوهای موجود در این خصوص، می‌توان زیستگاه‌های در معرض خطر را شناسایی و از ابزارهای پیشگیری در جهت جلوگیری از تهاجم این گونه به زیستگاه‌های در معرض خطر، جلوگیری کرد.

Refrences

1. Abbasian, A., Asadi, G., & Ghorbani, R. (2017). The effect of temperature on some germination index of invasive plant of *Centaurea balsamita* and determination of its germination Cardinal Temperatures. *Iranian Journal of Seed Science and Technology*, *5*(2), 215-222. (In Persian with English abstract)
2. Al-e-Ebrahim, M., Rashed Mohassel, M., Maighany, F., & Baghestani, M.A. (2011). Study of different techniques for breaking dormancy and optimum temperature for germination of Russian Knapweed (*Acroptilon repens*). *Journal of Iranian Plant Protection Research*, *24*(4). (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/jpp.v24i4.8127
3. Ansari, O., Gherekhloo, J., Kamkar, B., & Ghaderi-Far, F. (2016). Breaking seed dormancy and determining cardinal temperatures for Malva sylvestris using nonlinear regression. *Seed Science and Technology*, *44*(3), 447-460. https://doi.org/10.15258/sst.2016.44.3.05
4. Asgarpour, R., Mijani, S., & Ghorbabi, R. (2014). Effect of temperature on germination rate of Russianthistle (*Salsola kali* L.) based on regression models. *Journal of Iranian Plant Protection Research*, *27*(4), 476-483. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/jpp.v27i4.29893
5. Baskin, C., & Baskin, J.M. (2014). *Seeds: Ecology, Biogeography, and Evolution of Dormancy and Germination*. Academic Press, San Diego, 150-162.
6. Baskin, J., & Baskin, C. (2004). A classification system for seed dormancy. *Seed Science Research*, *14*(1), 1-16. https://doi.org/10.1079/SSR2003150
7. Bonhomme, R. (2000) Bases and limits to using “Degree Day” Units. *European Journal of Agronomy*, *13*, 1-10. https://doi.org/10.1016/S1161-0301(00)00058-7
8. Copeland, L.O., & McDonald, M.B. (1995). Principles of seed science and technology. 4th edn. *Annals of Botany*, *89*(6), 798.
9. Ebrahimi, E., & Eslami, S. (2013). Breaking dormancy and effect of some environmental factors on germination of Cutleaf Mignonette (*Reseda lutea* L.) Seeds. *Journal of Iranian Plant Protection Research*, *27*(2), 177-184. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/jpp.v27i2.24535
10. El-Keblawy, A., Al-Ansari, F., & Al-Shamsi, N. (2011). Effects of temperature and light on salinity tolerance during germination in two desert glycophytic grasses, *Lasiurus scindicus* and *Panicum turgidum*. *Grass and Forage Science*, *66*(2), 173-182. https://doi.org/10.1111/j.1365-2494.2010.00773.x
11. Gadiri, H., & Niazi, M. (2005). Effects of scarification and stratification on seed germination and dormancy of *Turgenia latifolia*, *Cuscuta* sp. and *Sophora alopecuroides* in different temperature regimes. *Iran Agricultural Research*, *23.24*(1), 9-17. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22099/iar.2005.4248
12. Ghahreman, A. (1997). *Flora of Iran.* Tehran: Research Institute of Forests and rangelands. 250p. (In Persian)
13. Hardegree, S.P. (2006). Predicting germination response to temperature. I. Cardinal-temperature models and subpopulation-specific regression. *Annals of botany*, *97*(6), 1115–1125. https://doi.org/10.1093/aob/mcl071
14. Izadi-Darbandi, E., Mirzaei, M., & Mehdikhani, H. (2018). Evaluation of flora and distribution of weeds in pistachio (*Pistacia vera*) orchards of Kerman City. *Journal of Iranian Plant Protection Research*, *32*(1), 59-69. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/jpp.v32i1.60787

15- Kamkar, B., Koocheki, A.R., Nassiri-Mahallati, M., & Rezvani-Moghaddam, P. (2006). Cardinal temperatures for germination in three millet species (*Panicum miliaceum*, *Pennisetum glaucum* and *Setaria italica*). *Asian Journal of Plant Sciences*, *5*(2):316-319. http://doi.org/10.3923/ajps.2006.316.319

16. Khajeh-Hosseinim, M., Orooji, K., & Avarseji, Z.(2010). *Evaluation of some seed dormancy breaking methods on twenty weeds species*. The 3rd Iranian Weed Science Congress. February 2010. p 167-169. (In Persian with English abstract)
17. Khan, M.A., & Ungar, I.A. (1997). Effect of light, salinity and thermoperiod on the seed germination of halophytes. *Canadian Journal of Botany*, *75*(5), 835-841. http://doi.org/10.1139/b97-093

18. Leblanc, M., Cloutier, D., Stewart, K., & Hamel, C. (2003). The use of thermal time to model common lambsquarters (*Chenopodium album*) seedling emergence in corn. *Weed Science, 51*(5), 718-724. https://doi.org/10.1614/P2002-108
19. Melendo, M., Benitez, E., & Nogales, R. (2002). Assessment of the feasibility of endogenous Mediterranean species for phytoremediation of Pb contaminated areas. *Fresenius Environmental Bulletin*, *11*(2), 1105–1109.
20. Piper, E.L., Boote, K.J., Jones, J.W., & Grimm, S.S. (1996). Comparison of two phenology models for predicting flowering and maturity date of soybean. *Crop Science, 36*(6), 1606–1614. https://doi.org/10.2135/cropsci1996.0011183X003600060033x
21. Roche, C. (1991). *Syrian beancaper* (*Zygophyllum fabago* L.). Pacific Northwest Extension Publication PNW-370. WSU Cooperative Extension, Pullman, Wash.
22. Roman, E., Thomas, A., Murphy, S., & Swanton, C. (1999). Modeling germination and seedling elongation of common lambsquarters (*Chenopodium album*). *Weed Science, 47*(2), 149-155. https://doi.org/10.1017/S0043174500091554
23. Sarmadi, A., Tavakkol-Afshari, R., Rahimian-Mashhadi, H., & Mamedi, A. (2017). Cardinal temperatures for germination of *Tribulus terrestris*. *Iranian Journal of Field Crop Science*, *48*(2), 413-419. (In Persian with English abstract)
24. Sharifi, S., Nejad Sattari, T., Zebarjadi, A.R., Majd, A., & Ghasempour, H.R. (2012). Enhanced callus induction and high-efficiency plant regeneration in *Tribulus terrestris* L., an important medicinal plant. *Journal of Medicinal Plants Research*, *6*(27), 4401-4408. https://doi.org/10.5897/JMPR12.260
25. Soltani, A., Robertson, M.J., Torabi, B., Yousefi-Daz, M., & Sarparast, R. (2006) Modeling seedling emergence in chickpea as influenced by temperature and sowing depth. *Agricultural and Forest Meteorology*, *138*, 156-167. http://dx.doi.org/10.1016/j.agrformet.2006.04.004
26. Soltani, A., Zeinali, E., Galeshi, S., & Latifi, N. (2001). Genetic variation for and interrelationships among seed vigor traits in wheat from the Caspian Sea coast of Iran. *Seed Science and Technology*, *29*, 653-662.
27. Sozzi, G.O., & Chiesa, A. (1995). Improvement of caper (*Capparis spinosa* L.) seed germination by breaking seed coat-induced dormancy. *Scientia Horticulturae*, *62*(4), 255-261.
28. Tabrizi, L., Nasiri Mahalati, M., & Koocheki, A. (2004). Investigations on the cardinal temperatures for germination of *Plantago ovata* and *Plantago psyllium*. *Iranian Journal of Field Crops Research*, *2*(2), 143-150. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/gsc.v2i2.1248
29. Tavili, A., Saberi, M., & Shahriari, A. (2011). Effect of different treatments on improving germination characteristics and early growth of species *Zygophyllum eurypterum* Boiss. & Buhse and *Zygophyllum eichwaldii* C.A.M. *Watershed Research (Research & Construction)*, *86*, 64-69. (In Persian with English abstract)
30. Yan, W., & Hunt, L.A. (1999). An equation for modelling the temperature response of plants using only the cardinal temperatures. *Annals of Botany*, *84*, 607-614. https://doi.org/10.1006/ANBO.1999.0955
31. Yaripour, S., Delnavazi, M. R., Asgharian, P., Valiyari, S., Tavakoli, S., & Nazemiyeh, H. (2017). A survey on phytochemical composition and biological activity of *Zygophyllum fabago* from Iran. *Advanced Pharmaceutical Bulletin*, *7*(1), 109–114. https://doi.org/10.15171/apb.2017.014
32. Zand, A., Baghestani, M.A., Nezam-Abadi, N., MinBashi-Moeini, M., & Hadizade, M.H. (2010). A review of the latest list of important Iranian herbicides and weeds. *Journal of Weed Research*, *1*(2), P82-100. (In Persian with English abstract)
33. Zarandi, L., Chaparzade, N., & Hajizade, G. (2017). Interactive effects of light and temperature on germination of *Zygophyllum fabago* L. *Desert Ecosystem Engineering Journal*, *5*(11), 1-8. (In Persian with English abstract)